

**УДК 621.3.011**

**Літвінов В. В., к.т.н.; Романовська К. О., магістрант** (Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя)

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ  
ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ ВИСОКОВОЛЬТНИХ  
ЕЛЕГАЗОВИХ ВИМИКАЧІВ ДНІПРОВСЬКОЇ ГЕС В УМОВАХ  
НЕПОВНОТИ ВХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ**

**Удосконалено метод визначення комутаційного ресурсу високовольтних елегазових вимикачів фірми GEC ALSTHOM, що дає суттєве зниження похибки при оцінюванні залишкового ресурсу вимикачів в умовах неповноти статистичної інформації щодо відключень струмів короткого замикання.**

**Ключові слова:** високовольтний вимикач, комутаційний ресурс, струм короткого замикання.

На сьогоднішній день до 60 % електрообладнання ГЕС України або експлуатується понад нормативний строк експлуатації, або підходить до граничного терміну експлуатації. До такого обладнання відносяться і високовольтні елегазові вимикачі, які вже відпрацювали по 14-16 років та наближаються до термінів проведення капітальних ремонтів.

Високовольтні вимикачі є основним комутаційним обладнанням у електричній схемі ГЕС. Вони повинні надійно та безвідмовно виконувати свої функції як в статичному стані, так і під час здійснення оперативних переключень та відключень струмів короткого замикання (КЗ). Тому їхня надійність і довговічність сильно впливає на надійність роботи ГЕС в цілому. В цих умовах особливо важливим є достовірне оцінювання фактичного технічного стану високовольтних вимикачів. Основним показником технічного стану високовольтних вимикачів є їхній ресурс, визначення якого представляє собою важливу та складну задачу [1].

Ресурс – це сумарний наробіток об'єкта від початку його експлуатації до переходу в граничний стан. Для високовольтних вимикачів розрізняють наступні види ресурсів [2]:

- комутаційний ресурс – це ресурс дугогасильної камери та силових контактів вимикача;
- механічний ресурс – це ресурс приводу та механічної системи вимикача.

Сучасні фірми-виробники високовольтних вимикачів часто пропонують індивідуальні методики та підходи до визначення термінів введення вимикачів в капітальний ремонт або їхньої заміни. Одним з таких підходів є визначення терміну проведення капітального ремонту вимикача за даними про його спрацьований комутаційний ресурс. Зазвичай, такий підхід поєднує точні та наближені методи визначення комутаційного ресурсу. Наближені методи рекомендуються до застосування у випадку відсутності повної інформації щодо відключень струмів КЗ (наприклад, якщо фіксується тільки факт відключення вимикачем струму КЗ без зазначення величини струму та пошкоджених фаз). Точні методи застосовуються за наявності повної статистичної інформації щодо відключень струмів КЗ на протязі всього періоду експлуатації вимикача [3].

В реальних умовах експлуатації не завжди можливо зібрати повну інформацію щодо відключень струмів КЗ на протязі 15 – 20 років експлуатації вимикача через наступні причини:

- відмови записуючих приладів. На теперішній час на ГЕС України встановлено сучасні цифрові записуючі прилади типу «РЕКОН», які достатньо надійні в експлуатації та з високою точністю фіксують величини струмів КЗ та ушкоджені фази, однак їхнє використання розпочалось нещодавно (5 – 10 років тому), а до цього фіксація струмів КЗ здійснювалась електронними записуючими осцилографами та фіксуючими приладами типу «ФІП». Надійність електронних осцилографів була невисокою, вони часто не записували аварійні процеси. ФІП були більш надійними, але вони були здатні фіксувати лише струми однофазних КЗ без визначення ушкодженої фази.
- людський фактор під час збору статистичних даних.

Перераховані фактори призводять до зниження якості статистичної інформації і, як наслідок, до значних похибок при оцінюванні залишкового комутаційного ресурсу за точними методами заводів-виробників високовольтних вимикачів. Наслідком цього може бути невірне визначення термінів проведення технічного обслуговування вимикачів, що суттєво підвищує імовірність їхньої відмови.

У зв'язку з цим необхідне удосконалення заводських методів та підходів до визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, яке полягає в урахуванні об'єктивно існуючої неповноти і неточності статистичної інформації щодо відключень струмів КЗ. Іншим аспектом проблеми є проведення комплексної оцінки стану високовольтних вимикачів. Більшість сучасних прикладних методів визначення ресурсу високовольтних вимикачів або оцінює їхній стан за одним критерієм (найчастіше це комутаційний ресурс), або розглядає критерії оціню-

вання стану незалежно один від одного. Оскільки високовольтний вимикач є складною системою, окремі підсистеми якого (механічна система, дугогасильна система, система управління, тощо) пов'язані між собою такий підхід є занадто спрощеним. В цих умовах важливо розробляти методи і моделі, які дозволять виконати дозволяють врахувати всі чинники, що впливають на технічний стан вимикачів.

Існуючі методи контролю ресурсу високовольтних вимикачів можна розділити на дві групи [1]:

1. Оцінка спрацьованого та залишкового ресурсу на основі даних, наданих заводом-виробником. Більшість заводів-виробників надає дані щодо початкового ресурсу вимикачів, а також дані, необхідні для оцінки спрацьованого та залишкового ресурсів за умови роботи вимикача в номінальних умовах роботи. Ці дані надаються як по комутаційному, так і по механічному ресурсу.

2. Оцінка спрацьованого та залишкового ресурсу на основі методів і засобів технічної діагностики, тобто на основі реального стану комутаційних апаратів за даними інструментального контролю.

В роботах [4 – 9] розглянуто ряд методів визначення ресурсу вимикачів. Методи [4 – 6] подібні між собою, оскільки величини комутаційного ресурсу фактично визначаються по тим самим формулам. Відмінності лише в способі завдання та побудови залежності припустимого числа комутацій і від величини струму, що комутується. Недоліком методу [4] є округлення значень струмів  $K_3$  в заданих межах (30-60%, 60-100% і т.д. від номінального струму, відключення вимикача). Метод [5] пропонує використання кривих залежності припустимого кількості відключень (включень) струму, які побудовано на підставі даних підприємств-виробників. Цей метод є кращим у порівнянні з попереднім, але в [5] приведені криві лише для повітряних вимикачів, які не підходять для сучасних елегазових вимикачів. Метод [6] використовує в розрахунковій формулі коефіцієнти, що залежать від типу вимикача, та для елегазових вимикачів не наведені. Визначення залишкового ресурсу вимикача за методом [7] виконується за даними про його тепловий стан, а за методом [8] – за даними про його вібраційний стан. Перевагою цих методів є можливість проводити оцінку поточного технічного стану та діагностику дефектів, а також визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів без розбирання, недоліком – неврахування «історії життя» вимикача та інформації щодо відключення ним струмів  $K_3$ . В [9] авторами запропоновано нечітку модель для комплексного оцінювання технічного стану високовольтного вимикача за даними про його механічний та комутаційний ресурси. Недоліком цього методу є настройка функцій приналежності нечіткої моделі за середньостатистичними показниками надійності комутаційного обладнання.

Таким чином, жоден з розглянутих методів не підходить для визначення спрацьованого комутаційного ресурсу високовольтних елегазових вимикачів. Для порівняння розглянемо методи визначення залишкового комутаційного ресурсу сучасних елегазових вимикачів "ГЕС ALSTHOM" [3], які встановлені в розподільчих установках високих напруг ГЕС України.

Вибір одного з методів визначення термінів проведення ремонтних робіт (А, В, С), залежить від наявності вимірювальних засобів для реєстрації відключень, викликаних КЗ. Для кожного методу невдале високошвидкісне автоматичне повторне включення (АПВ) вважається як два відключення.

Метод А: накопичений струм КЗ  $\sum I^2$ .

Якщо середньоквадратичні величини струму КЗ в кожній фазі роздільно реєструвати та підсумувати, то як тільки сума квадратів струму короткого замикання в одній фазі досягне величини  $20000 \text{ кА}^2$ , вимикач необхідно виводити в ремонт:

$$\max\{\sum I_A^2; \sum I_B^2; \sum I_C^2\} > 20000. \quad (1)$$

Метод В: число відключень, викликаних коротким замиканням  $n_1$ .

Якщо число відключень тільки реєструвати та підсумовувати окремо для кожної фази, то припустимо число відключень можна визначити за рис.1 при відповідній потужності КЗ. Якщо немає чіткого запису щодо відключення фази, потрібно зарахувати відключення для кожної фази вимикача.

Метод С. Якщо методи А та В не підходять, можна визначити з тривалість роботи вимикача у складі енергосистеми. Після «а» років експлуатації вимикач підлягає ремонту:

$$a = \frac{n_1}{0,04L}, \quad (2)$$

де  $n_1$  – максимальне число відключень, визначене за методом В,  $L$  – довжина лінії електропередачі, км, 0,04 – питома кількість КЗ, визначена CIGRE за статистикою пошкоджень.

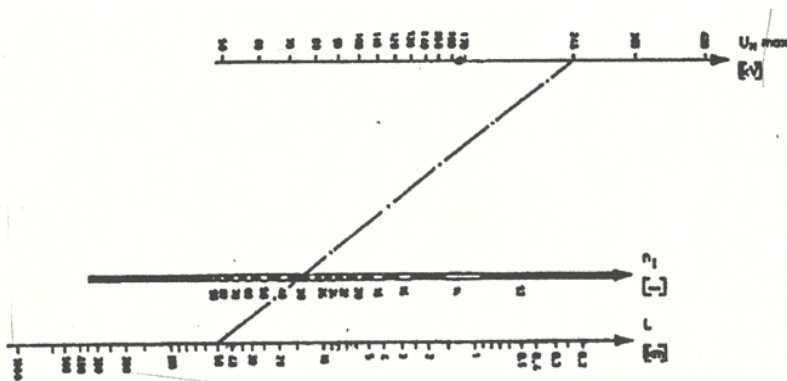


Рис. 1. Визначення допустимої кількості відключень струмів КЗ  $n_1$  від номінальної напруги  $U_n$  та довжини  $L$  лінії електропередачі

Критерій С є найпростішим, але найменш точним, оскільки не враховує реальні умови експлуатації вимикача. Критерій А є найкращим з трьох за точністю, але вимагає ретельного ведення статистики відключень КЗ, кожним вимикачем, що не завжди виконується в реальних умовах експлуатації.

На Дніпровській ГЕС ведеться облік відключень елегазовими вимикачами "GEC ALSTHOM" 154 та 330 кВ струмів КЗ із зазначенням величини струму та пошкодженної фази. Виходячи з цього, для оцінювання спрацьованого комутаційного ресурсу використовується метод А. Однак, через вказані вище причини, інформація по деяким відключенням струмів КЗ є неповною. В якості прикладу приведено статистику відключень струмів КЗ вимикачем 154 кВ приєднання Л-10 (табл.1), зібрану на протязі 1998 – 2012 років.

Аналіз статистичних даних показав, що при фіксації КЗ № 4 та № 6 не було визначено пошкоджену фазу, а при фіксації двофазного КЗ № 10 не визначено величину струму КЗ. При розрахунку залишкового ресурсу з використанням заводського методу А, запропонованого GEC ALSTHOM, через ці невизначеності похибка склала 7,1%.

Отримана величина похибки є значною і може призвести до невірної визначення терміну виведення вимикача в ремонт. Для запобігання цьому, запропоновано адаптацію методів [3, 4] для елегазових вимикачів "GEC ALSTHOM". Формалізований запис методу виглядає наступним чином:

Таблиця 1

Статистична інформація щодо відключень струмів КЗ елегазовим ви-  
микачем фірми «GEC ALSTHOM»

<b>Лінія 154 кВ, вимикач Л-10</b>			
<b>Значення відключених струмів КЗ, кА:</b>			
<b>№</b>	<b>Фаза «А»</b>	<b>Фаза «В»</b>	<b>Фаза «С»</b>
1	0	10,12	0
2	21,15	0	0
3	0	7,9	0
4	6,7 (?)	6,7 (?)	6,7 (?)
5	0	12,91	0
6	2,4 (?)	2,4 (?)	2,4 (?)
7	0	6,15	0
8	0	0	7,6
9	0	15,92	0
0	0	???	???
11	0	11,8	0
12	0	5,9	5,9
13	0	5,9	5,9
14	7,8	5,07	0
15	0	0	8,9
16	0	9,3	0
17	0	9,6	0
18	4,5	2	5,5

$$R = \max \left\{ \sum \frac{I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.А}}}{I_{\text{max}} n_1}; \sum \frac{I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.В}}}{I_{\text{max}} n_1}; \sum \frac{I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.С}}}{I_{\text{max}} n_1} \right\}, \quad (3)$$

де  $n_1 = f(U_H, L)$  – кількість відключень, визначена за методом В;  $I_{\text{max}}$  – максимально припустимий струм відключення вимикача.

Струми КЗ  $I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.А}}$ ,  $I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.В}}$ ,  $I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.С}}$  при цьому визначаються наступним чином:

- за статистичними даними в разі повної інформації щодо відключення струму КЗ  $\{I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.А}}; I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.В}}; I_{\text{КЗ}}^{\text{ф.С}}\}$ ;
- за відсутності даних щодо пошкодженої фази струм КЗ приймається рівним по всім фазам  $\{I_{\text{КЗ}}; I_{\text{КЗ}}; I_{\text{КЗ}}\}$ ;
- за відсутності даних щодо величини струму КЗ, він приймається

рівним максимально можливому струму КЗ приєднання  $\{I_{\text{КЗ}}^{\text{max}}; I_{\text{КЗ}}^{\text{max}}; I_{\text{КЗ}}^{\text{max}}\}$ .

При застосуванні запропонованого методу при оцінюванні залишкового комутаційного ресурсу елегазового вимикача Л10 похибка склала 3,5%. Для інших елегазових вимикачів, встановлених на Дніпровській ГЕС-1 похибка теж суттєво знизилась (табл. 2).

Таблиця 2

Порівняння похибок розрахунків залишкового ресурсу елегазових вимикачів Дніпровської ГЕС за двома методами

№	Вимикач	δ, %	
		За методом «А»	За удоскона- ним методом
1	Л-9В	4,4	2,3
2	Л-10	7,1	3,5
3	Л-11	5,2	2,8
4	Л-211/1	11,5	6,9
5	Л-211/2	14,1	8,6

Отримані результати показали, що удосконалений метод дає суттєве зниження похибки при оцінюванні залишкового ресурсу високовольтних елегазових вимикачів в умовах неповної статистичної інформації. Це дозволить з більшою точністю визначати терміни виведення вимикачів у ремонт, що підвищить надійність роботи ГЕС. Також запропонований метод визначення залишкового ресурсу може бути використаний для визначення вхідної величини «Комутаційний ресурс вимикача» нечіткої моделі для комплексного оцінювання ТС вимикача [9].

1. Андреев Д. А. Анализ методов оценки коммутационного ресурса высоковольтных выключателей / Д. А. Андреев, И. А. Назарычев // Вестник ИГЭУ. – 2008. – № 2. – С. 59–74. 2. Неклепаев Б. Н. Механическая и коммутационная износостойкость выключателей / Б. Н. Неклепаев, А. А. Востросаблин // Пром. энергетика. – 1992. – № 8. – С. 14–16. 3. Инструкция по монтажу и обслуживанию элегазового выключателя наружной установки HGF-100/1В. GEC ALSTHOM, 1996. 4. ГОСТ 687–78. Выключатели переменного тока на напряжение свыше 1000 В. Общие технические условия. – М. : Издательство стандартов, 1994. – 108 с. 5. Методические указания по определению расхода коммутационного ресурса выключателей при эксплуатации. – М. : ОРГРЭС, 1992. – 19 с. 6. Неклепаев Б. Н. Методика оценки остаточного ресурса выключателей при эксплуатации / Б. Н. Неклепаев, А. А. Востросаблин // Пром. энергетика. – 1992. – № 10. – С. 31–32. 7. Назарычев А. Н. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / А. Н. Назарычев, Д. А. Андреев. – Иваново : ИГЭУ, 2005. – 224 с. 8. Экспертная систе-

ма диагностики технического состояния и оценки остаточного коммутационного ресурса высоковольтных выключателей «НИКТА». Назначение и использование системы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vibrocenter.ru> 9. Бардик Є. І. Нечітке моделювання технічного стану високовольтних вимикачів енергосистем / Є. І. Бардик, М. В. Костерев, В. В. Літвінов // Наук. вісті НТУУ «КПІ». – 2011. – № 1. – С. 12–18.

Рецензент: д.т.н., професор Волков О. В. (Запорізька державна інженерна академія, м. Запоріжжя)

---

**Litvinov V. V., Candidate of Engineering, Romanovska K. O.,  
Graduate Student** (Zaporizhia State Engineering Academy, Zaporizhia)

### **IMPROVEMENT OF ASSESSMENT METHODS REMAINING LIFETIME OF HIGH-VOLTAGE GAS-INSULATED SWITCHES DNIEPER HPP UNDER INCOMPLETE INPUT INFORMATION**

Switching resource determination method of GEC ALSTHOM high-voltage SF6 breakers are improved. As a result, the great decreasing of error in the estimation of a breakers residual resource in the not-full statistical information conditions by short currents switching.

**Keywords:** high voltage switch, switching resources, short-circuit current.

---

**Литвинов В. В., к.т.н.; Романовская Е. А., магистрант** (Запорожская государственная инженерная академия, г. Запорожье)

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕГАЗОВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ДНЕПРОВСКОЙ ГЭС В УСЛОВИЯХ НЕПОЛНОТЫ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Усовершенствован метод определения коммутационного ресурса высоковольтных элегазовых выключателей фирмы GEC ALSTHOM, что позволяет значительно снизить погрешность при оценивании остаточного ресурса выключателей в условиях неполноты статистической информации по отключениям токов короткого замыкания.

**Ключевые слова:** высоковольтный выключатель, коммутационный ресурс, ток короткого замыкания

---